

Литература

1. Темкин А.Г. Обратные методы теплопроводности. – М.: Энергия, 1973. – 464 с.
2. Коздоба Л.А., Круковский П.Г. Методы решения обратных задач теплопереноса. – К.: Наукова думка, 1982. – 360 с.
3. Арсенин В.Я., Тихонов А.Н. Некорректно поставленные задачи. – В кн.: Энциклопедия кибернетики, 1975. – Т. 2. – С. 76 – 78.
4. Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Наука, 1979. – 336 с.
5. Гончарова О.Е., Максимов В.Г., Становский А.Л. Нечувствительный к асимметрии численный метод оптимизации конструкций // Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – Вып. 2(8). – С. 41 – 44.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ ПРИ ИСТОЧНИКАХ С ПЕРЕМЕННЫМИ ГРАНИЦАМИ

Становский А.Л., Балан С.А., Лысенко Т.В., Трофименко Е.Г.

При сравнительно быстротечных процессах охлаждения стараются учесть перемещение источника тепла в процессе заполнения литейной формы [1]. Необходимость такого решения следует также из того, что в процессе заполнения при всей его скоротечности закладываются основы большинства видов литейных дефектов, а, следовательно, борьба с этими дефектами предполагает оптимизацию именно конструктивных и кинетических параметров заполнения формы путем создания адекватных моделей системы «форма — движущийся металл — отливка».

Отличием таких моделей от известных задач нагрева подвижным источником тепла [2] является то обстоятельство, что в процессе заполнения металлом такой источник не только перемещается, но и увеличивается в размерах, — действительно, площадь контакта «металл — форма» при этом постоянно растёт. Такой источник уже нельзя считать ни точечным, ни подвижным в трактовке [2], что резко усложняет применение стандартных, справочных формул и алгоритмов для расчёта температурных полей внутри формы. Не менее сложным становится и анализ массопереноса в форме, так как мощность источников газовыделения зависит от температурных полей, кроме того, при нагреве изменяются и условия фильтрации газов из остающейся незаполненной части полости формы [3].

Проблема усложняется также тем, что термические и гидравлические коэффициенты в высокоинтенсивных процессах теплообмена, развивающихся при заливке, существенно нелинейны, во-первых, из-за своей температурной зависимости, во-вторых, из-за наличия фазовых переходов в кристаллизующейся отливке и прогревающейся форме. Таким образом, моделирование теплообмена при заполнении формы сводится к постановке и решению задачи Стефана с неизвестной границей раздела фаз в нестационарной многомерной постановке [4].

Существующие на сегодняшний день аналитические методы решения такой задачи применимы только к объектам весьма простой конфигурации. К со-

жалению, литейная форма, содержащая, как правило, один или более стержней, такой конфигурацией практически никогда не обладает. Поэтому весьма перспективными являются численные методы решения задачи Стефана с подвижными границами [5, 6].

В этих условиях полезным может оказаться также физическое (электрическое) моделирование процессов тепломассопереноса с подвижным (переменным) источником тепла, которое сводится к «перемещению» на модели соответствующих точек подвода электрической энергии и переключению резисторов, моделирующих теплоотдачу на границе. В тепловой подсистеме такое переключение моделирует рост площади контакта «металл-форма», а в массовой – рост площади источника газовыделения. Одновременно с этим в массовой подсистеме уменьшается количество электрических стоков (заземлённых точек), что соответствует снижению площади фильтрации. Точки подвода последовательно замещают точки отвода со скоростью перемещения фронта жидкого металла в форме, чем моделируется скорость заполнения. Наиболее эффективна такая модель, если её реализация осуществлена не на реальных электрических элементах, а в виде схмотехнической САПР [7].

В разработанной модели учет нелинейности параметров переноса осуществлялся путем перехода к автоматному времени с пересчетом этих параметров после каждой временной итерации и внесением соответствующего изменения в модель.

Положение зеркала металла в форме вдоль вертикальной оси x в конце каждой временной итерации рассчитывали по формуле:

$$x_i = x_{i-1} + \frac{1}{\rho} \int_{t_{i-1}}^{t_i} \int \frac{m(\tau)}{F(x)} dx d\tau,$$

где x_i , x_{i-1} — координаты зеркала, соответственно, на предыдущей и текущей итерациях;

ρ — плотность металла;

t_{i-1} , t_i — временные границы итерации;

$m(\tau)$ — массовая скорость поступления металла в форму;

$F(x)$ — площадь горизонтального сечения системы: «отливка — форма» на уровне x_i .

Граничные условия определяли, исходя из пяти вариантов контактной теплопередачи на границе «металл — форма». Соответственно электрическая схема ячейки теплоотдачи содержит пять резисторов, переключение которых соответствует изменению контактных условий: R_1 — теплоотдача от жидкого металла к стенке формы; R_2 — теплоотдача от твёрдого металла без зазора между отливкой и формой; R_3 — теплоотдача от твёрдого металла через образовавшийся в результате усадки зазор между отливкой и формой; R_4 — теплоотдача лучеиспусканием от зеркала металла к участкам формы, не контактирующим с металлом; R_5 — теплоотдача отраженным лучеиспусканием от зеркала

металла к участкам формы, не контактирующим с металлом и находящимся «в тени» стержня.

Разработанная модель позволяет проектировать технологию литейной формы, исключаящую образование дефектов отливок по вине литейной формы.

Литература

1. Серебро В.С. Процессы тепло- и массопереноса при формировании отливки. — К.: УМК ВО, 1992. — 80 С.
2. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. — Л.: Энергия, 1976. — 352 с.
3. Серебро В.С. Основы теории газовых процессов в литейной форме. — М.: Машиностроение, — 1981. — 208 с.
4. Данилюк И.И. О задачах со свободной (неизвестной) границей // Уравнения в частных производных и задачи со свободной границей. — К.: Наукова думка, 1983. — С. 3-5.
5. Никитенко Н.И. Исследование процессов тепло- и массообмена методом сеток. — К.: Наукова думка, 1978. — 211 с.
6. Никитенко Н.И. Сопряженные и обратные задачи тепломассопереноса — К: Наукова думка, 1888. — 237с.
7. Становский А.Л. Повышение качества проектирования специальных способов литья — Автореферат дисс.... докт. техн. наук. — М.: МГТУ, 1992. — 32 с.

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Балан С.А., Кострова Г.В., Пурич В.Н.

Структурная чувствительность литейных формовочных материалов известна давно. Это свойство означает зависимость физических или технологических свойств гетерогенных смесей не только от их состава (что вполне естественно), но и от геометрии границы раздела между отдельными компонентами. Практическую ценность количественной оценке этой зависимости придаёт то обстоятельство, что положение этих границ является функцией технологии формообразования. Широко известна, например, зависимость газопроницаемости и теплопроводности одной и той же по составу песчаной формовочной смеси от уплотнения, зависимость проницаемости кварцевой керамики от режима термообработки, зависимость реологических свойств от зернового состава и состояния связующего и многое другое.

Однако, все эти зависимости были получены эмпирическим путём, т.к. у исследователей не существовало адекватной физической (а значит, и математической) модели, связывающей аналитически, пусть даже с заданной долей вероятности, такие характеристики, как формы границ и свойства. Получившая распространение в последнее время перколяционная теория (теория протекания) в совокупности со своим математическим аппаратом даёт исследователю возможность не только объяснить известные из опыта соотношения, но и *количественно предвидеть* всю цепочку "технология – геометрия – свойства".